

Тверда О. Я., д.т.н., доцент, Ткачук К. К., д.т.н., професор,
Кофанов О. Є., к.т.н., старший викладач, Кофанова О. В., д.п.н.,
к.х.н., професор, Вовк О. О., д.т.н., професор, Бондаренко А. О.,
студентка (Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ,
tverdaya@ukr.net)

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДОБУТКУ БУДІВЕЛЬНОЇ СИРОВИНИ ТА ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

Втрати економіки України від пошкодження фізичної інфраструктури з початку повномасштабного вторгнення РФ уже становлять понад \$100 млрд. Така ситуація вимагає нарощення видобутку будівельної сировини та виробництва будівельних матеріалів для відновлення інфраструктури України у воєнний і післявоєнний періоди. У статті розроблено комплексний підхід щодо інтенсифікації видобутку будівельної сировини та виробництва будівельних матеріалів, який включає три основні напрямки. Напрямок 1 – збільшення виробничих потужностей гірничо-збагачувальних комбінатів без компромісів щодо впливу на навколишнє середовище (зокрема, удосконалення технології видобутку або перехід на ресурсозберігаючі (безвідходні) технології видобутку, модернізація обладнання тощо); напрям 2 – розробка техногенних родовищ; напрям 3 – утилізація будівельних відходів, що утворилися внаслідок війни.

Ключові слова: видобуток будівельної сировини; виробництво будівельних матеріалів; відновлення інфраструктури; післявоєнний період; інтенсифікація видобутку.

Вступ. Станом на 25 травня 2022 року загальна сума прямих збитків економіки України від пошкодження та руйнування житлових і нежитлових будівель та інфраструктури вже перевищує \$105,5 млрд (або понад 3,1 трлн грн). Загальна сума збитків житлового фонду складає \$39,3 млрд. Загалом через війну пошкоджено, зруйновано чи втрачено понад 44 млн квадратних метрів житла українців. Загальна

сума прямих задокументованих збитків українських підприємств і бізнесу сягає вже \$11,3 млрд.

З початку війни РФ проти України пошкоджено чи зруйновано щонайменше 227 підприємств, заводів і фабрик. Внаслідок війни постраждало щонайменше 2910 торгових точок, а сумарні збитки складають \$1,4 млрд. З початку війни Росії проти України пошкоджено, зруйновано або захоплено щонайменше 23,8 тисяч кілометрів доріг, 6,3 тисяч залізничних колій та 41 залізничний міст, 643 заклади охорони здоров'я, 1123 заклади освіти, 621 дитсадок, 192 культурні та 115 релігійних споруд, 178 складів, 99 адмінбудівель, 28 нафтобаз, 19 торгових центрів [1].

Питання відновлення інфраструктури України на сьогодні є одним із ключових і розглядається на відомих міжнародних майданчиках, зокрема знаходиться у фокусі Саміту міжнародного транспортного форуму 2022 і Конференції європейських директорів доріг (CEDR). Європейська комісія затвердила стратегічний план «Відновлення України», в якому окреслено ключові реформи та інвестиції, необхідні для побудови процвітаючого і сталого майбутнього України.

За пропозицією Президента України запущено глобальну ініціативу – United24, завдяки якій люди з усього світу можуть долучитися до допомоги Україні. Наразі до складу United24 (скорочено – U24) входить однойменна фандрейзингова платформа @u24.gov.ua. Її ціль – збільшити пожертви на користь України, зокрема, акумулювавши благодійні внески міжнародних партнерів, донорів і публічних осіб. Пожертви спрямовуються за трьома напрямками, один із яких Rebuild Ukraine – Відбудова України. Кошти, залучені за цим напрямом, будуть спрямовані на відновлення інфраструктури, зокрема доріг, мостів, портів, аеропортів тощо [2].

Отже, це спричиняє необхідність інтенсифікації видобутку будівельної сировини та виробництва будівельних матеріалів для відновлення інфраструктури України у воєнний і післявоєнний періоди.

Мета роботи – розробити комплексний підхід щодо інтенсифікації видобутку будівельної сировини та виробництва будівельних матеріалів для відновлення інфраструктури України у воєнний і післявоєнний періоди.

Виклад основного матеріалу. Для відновлення інфраструктури України пропонується комплексний підхід щодо інтенсифікації

видобутку будівельної сировини та виробництва будівельних матеріалів, який включає три основні напрями (рис. 1):

- збільшення виробничих потужностей гірничо-збагачувальних комбінатів без компромісів щодо впливу на навколишнє природне середовище (удосконалення технології видобутку або перехід на ресурсозберігаючі (безвідходні) технології видобутку, модернізація машин та обладнання) – напрям 1;

- розробка техногенних родовищ – напрям 2;

- утилізація будівельних відходів, що утворилися внаслідок війни – напрям 3.

За першим напрямом кафедра геоінженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського активно працює впродовж останніх років. До прикладу, розроблено циклічно-поточну технологію виробництва щебеню на гранітних кар'єрах, яка полягає у застосуванні сучасної гіраційної дробарки, розташованої на двох спарених уступах в зоні кар'єру, та поєднанні її з крутопохилим конвеєром. Це дозволяє скоротити кількість проміжного транспортно-навантажувального обладнання та підвищити продуктивність кар'єру, в тому числі екстрену сезонну [3].



Рис. 1. Комплексний підхід щодо інтенсифікації видобутку будівельної сировини та виробництва будівельних матеріалів

Вченими кафедри удосконалено конструкцію заряду, яка передбачає застосування радіального проміжку між зарядом і стінкою свердловини, заповненого суспензією кальцій гідроксиду або кальцій

карбонату. При застосуванні як заповнювача проміжку суспензії кальцій гідроксиду $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з'являється можливість повної нейтралізації усіх шкідливих газів, що утворюються під час вибуху (CO , NO_2 , CO_2 та інших). При застосуванні ж кальцій карбонату CaCO_3 можна нейтралізувати усі шкідливі гази, крім карбон(II) оксиду.

За умови використання вибухових речовин, що містять Сульфур, оскільки за умови проведення вибухових робіт у сульфуровмісних породах нейтралізація сполук Сульфуру, зокрема SO_2 і H_2S , буде досягатись за допомогою подібних механізмів [4]. Проте у такому випадку більш ефективним буде використання саме кальцій гідроксиду як заповнювача радіального проміжку між зарядом і стінкою свердловини.

Отже, розроблена конструкція заряду дозволяє суттєво знизити пік тиску в ближній до заряду зоні, тобто зменшити зону переподрібнення, і таким чином не тільки знизити втрати корисної копалини, а й нейтралізувати шкідливі гази, що утворюються при вибуху. Конструкція заряду може бути використана в нерудних кар'єрах з видобутку будівельної сировини для підвищення їхньої виробничої потужності.

У процесі багаторічних досліджень розроблено також два типи забійки свердловинних зарядів, які, окрім запирання продуктів вибуху, надають змогу повністю нейтралізувати шкідливі гази. Перший тип – конструкція забійки свердловини, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених у процесі вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном (або відходами виробництва, що його включають) та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами [5]. Така забійка дозволяє під час вибуху практично повністю нейтралізувати NO_2 і CO_2 , а також поглинути CO за допомогою цеолітів.

Другий тип – конструкція забійки свердловини, яка включає хемосорбцію газів гашеним вапном. Цей тип забійки має кілька переваг у порівнянні із першим типом. Він дозволяє не лише повністю нейтралізувати такі газоподібні забруднювачі, як NO_2 , CO_2 і CO , але і відмовитися від використання цеолітів, що значно зменшує витрати на формування забійки, регенерацію цеолітів тощо, а також дає змогу отримати ефект «зрошення» пилогазової хмари, що зменшує концентрацію пилу в повітрі після вибуху [6]. Схему конструкції заряду та забійки представлено на рис. 2.

За напрямом 2 авторами розроблено технологічну схему утилізації відходів гірничого виробництва для отримання скловолокна [8], яка передбачає вилучення гірської породи з відвалів каменедробильних заводів, тонкий помел відходів до фракції 0,1–0,5 мм, вилучення ферум(III) оксиду на магнітному сепараторі, додавання оксидів Бору B_2O_3 і Магнію MgO у необхідних пропорціях, подачу сировини до скловарної печі для виробництва скловолокна. Вилучений Fe_2O_3 може бути у подальшому використаний, наприклад, для виробництва пігменту для фарб.

Отже, виробництво щебеню та виробництво скловолокна на основі запропонованої технології, а також виробництво пігменту для фарб з видобутого ферум(III) оксиду, дозволяють впровадити на гірничо-збагачувальних комбінатах безвідходну технологію виробництва будівельних матеріалів, що і було запропоновано для ТОВ «Гранітпромінвест» у межах договору Д/0201.01/2400.01/278/2021 від 23.07.2021 «Способи утилізації відходів видобування будівельного та декоративного каменю». Наразі тривають дослідження щодо можливості вилучення високочистого Силіцій(IV) оксиду із відходів виробництва кварцитового щебеню.

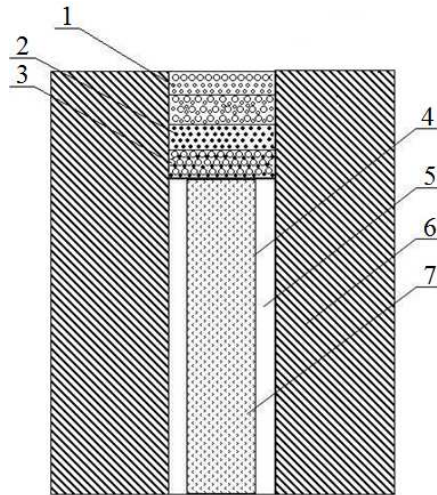


Рис. 2. Ресурсозберігаюча конструкція заряду та забійки [7]:

- 1 – цеоліт; 2 – негашене вапно; 3 – щебінь фракції 5–25 мм;
- 4 – поліетиленовий рукав; 5 – проміжок між зарядом і стінкою свердловини;
- 6 – гірська порода; 7 – вибухова речовина

Пропозиції авторів за напрямом 3 значною мірою залежать від типу відходів (завалів), які будуть розбиратись, і можуть бути напрацьовані у короткі терміни на основі існуючих і перспективних розробок кафедри геоінженерії. В цілому ж утилізація відходів будівництва може здійснюватися у таких напрямках:

- повторне використання у новому будівництві окремих частин будинків (фундаменти, стіни) або їхніх окремих конструкцій (балки, плити, колони) за прямим призначенням;

- або у разі неможливості реалізації першого варіанту – переробка будівельних відходів для їх використання в якості вторинних (повторно перероблених) сировинних матеріалів.

Висновки. У статті запропоновано комплексний підхід для вирішення завдань інтенсифікації видобутку будівельної сировини та виробництва будівельних матеріалів для відновлення інфраструктури України у воєнний і післявоєнний періоди. Підхід включає три напрями: збільшення виробничих потужностей гірничо-збагачувальних комбінатів без компромісів щодо впливу на навколишнє середовище (зокрема удосконалення технології видобутку або перехід на ресурсозберігаючі (безвідходні) технології видобутку, модернізація машин та обладнання); розробка техногенних родовищ; утилізація будівельних відходів, що утворилися внаслідок війни.

Перший напрям можливо реалізувати за рахунок впровадження ощадних вибухових методів руйнування, використання циклічно-поточної технології на кар'єрах будівельної промисловості, модернізації обладнання тощо. В межах другого напрямку запропоновано залучати для виробництва скловолокна, фарбників та інших будівельних матеріалів відходи переробки будівельної сировини. Це дозволить значно інтенсифікувати використання вже добутої природної сировини та отримати додаткові доходи від її глибшої переробки з отриманням нових продуктів виробництва. В умовах зростання попиту на будівельну сировину та необхідності розбору зруйнованих об'єктів інфраструктури України у рамках третього напрямку запропоновано повторне залучення будівельних матеріалів у будівництво та інші галузі після їх сепарації, що значно знизить навантаження на видобувну промисловість.

1. «Росія заплатить». Проект зі збору, оцінки й аналізу інформації про матеріальні втрати України від війни з Росією. URL:

<https://kse.ua/ua/russia-will-pay/> (дата звернення: 15.02.2022).
2. Міністерство інфраструктури України : вебсайт. URL: <https://mtu.gov.ua/> (дата звернення: 15.02.2022).
3. Диняк С. В. Розробка циклічно-поточної технології виробництва щебеню на гранітних кар'єрах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.15.03 / НТУУ «КПІ». Київ, 2016. 16 с.
4. A resource efficient and environmentally safe charge structure for mining in an open-pit / Tverda O., Kofanova O., Repin M., Kofanov O., Tkachuk K., Guts N., Cabana E. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15 (2021), Issue 4. P. 84–90.
5. Тверда О. Я., Пляцук Л. Д. Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2018. Вип. 1/2018 (21). С. 103–115. DOI: 10.30929/2074-1537.2018.1.103-115. URL: [http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_1_2018\(21\)/103-115.pdf](http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_1_2018(21)/103-115.pdf)
6. Gas-neutralizing and dust-suppressing stemming of borehole charges for increasing the environmental safety of explosion / Tverda O., Kofanova O., Kofanov O., Tkachuk K., Polukarov O., Pobigaylo V. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2021. Vol. 58, Issue 4. P. 15–27. DOI: 10.2478/lpts-2021-0030.
7. Тверда О. Я., Ткачук К. К. Результати промислових випробувань ресурсозберігаючої та екологічно ефективної конструкції свердловинного заряду. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2019. Вип. 1/2019 (23). С. 47–57. DOI: 10.30929/2074-1537.2019.1.47-57. URL: [http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_1_2019\(23\)/47-57.pdf](http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_1_2019(23)/47-57.pdf) (дата звернення: 15.02.2022).
8. Waste-Free Technology for The Production of Building Materials by Mining and Processing Plants / Vovk O., Tkachuk K., Tverda O., Syniuk A., Kukuiashnyi E. *International Symposium on Sustainable Aviation – ISSA21 – Abstract Book*. 2021. P. 50. URL: <https://2021.issasci.org/wp-content/uploads/2022/03/ISSA21-Abstract-Book.pdf> (дата звернення: 15.02.2022).

REFERENCES:

1. «Rosiiia zaplatyt». Proiekt zi zboru, otsinky y analizu informatsii pro materialni vtraty Ukrainy vid viiny z Rosiieiu. URL: <https://kse.ua/ua/russia-will-pay/> (data zvernennia: 15.02.2022).
2. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy: vebсайт. URL: <https://mtu.gov.ua/> (data zvernennia: 15.02.2022).
3. Dyniak S. V. Rozrobka tsyklichno-potochnoi tekhnolohii vyrobnytstva shchebeniu na hranitnykh karierakh : avtoref. dys. ... kand. tekhn. Nauk : 05.15.03 / NTUU «KPI». Kyiv, 2016. 16 s.
4. A resource efficient and environmentally safe charge structure for mining in an open-pit / Tverda O., Kofanova O., Repin M., Kofanov O., Tkachuk K., Guts N., Cabana E. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15 (2021), Issue 4. P. 84–90.
5. Tverda O. Ya., Pliatsuk L. D. Rozrobka konstruktсии zabiiky sverdlovyynnoho zariadu iz

dvostupenevoiu systemoiu pohlynannia shkidlyvykh haziv. *Suchasni resursoenerhozberihaiuchi tekhnolohii hirnychoho vyrobnytstva*. 2018. Vyp. 1/2018 (21). S. 103–115. DOI: 10.30929/2074-1537.2018.1.103-115. URL: [http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_1_2018\(21\)/103-115.pdf](http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_1_2018(21)/103-115.pdf) (data zvernennia: 15.02.2022).

6. Gas-neutralizing and dust-suppressing stemming of borehole charges for increasing the environmental safety of explosion / Tverda O., Kofanova O., Kofanov O., Tkachuk K., Polukarov O., Pobigaylo V. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2021. Vol. 58, Issue 4. P. 15–27. DOI: 10.2478/lpts-2021-0030.

7. Tverda O. Ya., Tkachuk K. K. Rezultaty promyslovykh vyprobuvan resursozberihaiuchoi ta ekolohichno efektyvnoi konstruksii sverdlovynnoho zariadu. *Suchasni resursoenerhozberihaiuchi tekhnolohii hirnychoho vyrobnytstva*. 2019. Vyp. 1/2019 (23). S. 47–57. DOI: 10.30929/2074-1537.2019.1.47-57. URL: [http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_1_2019\(23\)/47-57.pdf](http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_1_2019(23)/47-57.pdf) (data zvernennia: 15.02.2022).

8. Waste-Free Technology for The Production of Building Materials by Mining and Processing Plants / Vovk O., Tkachuk K., Tverda O., Syniuk A., Kukuiashnyi E. *International Symposium on Sustainable Aviation – ISSA21 – Abstract Book*. 2021. P. 50. URL: <https://2021.issasci.org/wp-content/uploads/2022/03/ISSA21-Abstract-Book.pdf> (data zvernennia: 15.02.2022).

Tverda O. Ya., Doctor of Engineering, Associate Professor, Tkachuk K. K., Doctor of Engineering, Professor, Kofanov O. Ye., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Lecturer, Kofanova O. V., Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Professor, Vovk O. O., Doctor of Engineering, Professor, Bondarenko A. O., Senior Student (National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv)

INTENSIFICATION OF CONSTRUCTION RAW MATERIALS EXTRACTION AND BUILDING MATERIALS PRODUCTION FOR RESTORATION OF UKRAINIAN INFRASTRUCTURE

The losses of Ukraine's economy from damage to physical infrastructure since the beginning of hostilities already amount to more than \$ 100 billion. This situation will lead to the need to increase the raw materials extraction and building materials production to restore the infrastructure of Ukraine in the postwar period. A comprehensive approach to the raw materials extraction and building

materials production has been developed. It includes three areas. Direction 1 – increase in production capacity of mining and processing plants without compromising on influence to the environment (improvement of extraction technology or transition to resource-saving (waste-free) extraction technologies, modernization of machinery and equipment). Direction 2 – development of technogenic deposits. Direction 3 – utilization of construction waste generated as a result of the war. Direction 1 can be implemented through the introduction of resource-saving mining technologies, for example, cyclic-current technology of crushed stone production, which consists in the use of modern gyro crusher located on two paired ledges in the quarry area and combining it with a steep conveyor, which will reduce the amount of intermediate transport equipment and increase quarry productivity. It can also be implemented by improving technological parameters, for example, the use of resource-saving and environmentally friendly design of charge and stemming, which together can reduce mineral losses and completely neutralize harmful gases during the explosive destruction of the rock. In the second direction it is proposed to develop technogenic deposits, to involve for the production of fiberglass, dyes and other building materials wastes from the processing of construction raw materials. It will allow to intensify the use of already extracted natural raw materials and receive additional income from its deeper processing to obtain new products. In the conditions of growing demand for construction raw materials and the need to dismantle the post-war destroyed infrastructure facilities of Ukraine the re-involvement of construction materials in construction and other industries after their separation and, if necessary, processing is proposed under the third direction. This will reduce the burden on the mining industry, and in turn on the environment.

Keywords: extraction of construction raw materials; production of construction materials; restoration of infrastructure; post-war period; intensification of extraction.
